УДК 629.7

Ю.И. Монич, В.В. Старовойтов
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск
monich@newman.bas-net.by

Новый подход к построению кода радужной оболочки глаза

В статье представлены результаты исследования задач, возникающих при создании систем распознавания личности по РОГ. Предложен новый двухуровневый подход к построению кода, описывающего полутоновое изображение радужной оболочки глаза (РОГ). Проанализирована точность трех мер для сравнения сходства кодов РОГ разных людей. Исследования выполнялись на изображениях глаз высокого разрешения (с радиусом РОГ порядка 500 и 1000 пикселей), а также на общедоступной базе изображений глаз со стандартным разрешением – CASIA-Iris-V3-Lamp (с радиусом РОГ порядка 90 – 110 пикселей).

Введение

Большинство систем контроля доступа используют такие средства идентификации, как контактные или бесконтактные карточки, личные идентификационные номера (PIN-коды), пароли, электронные ключи и т.д. Разработчики таких систем столкнулись с тем, что стандартные методы устарели и допускают несанкционированное использование указанных идентификаторов. Поэтому все большую популярность приобретают системы контроля, основанные на распознании биометрических характеристик человека, в частности системы распознавании личности по РОГ [1]. Уникальность рисунка РОГ позволяет создавать высоконадежные системы биометрической идентификации личности. В последние годы активно разрабатываются все более совершенные системы распознавания по РОГ [2], [3]. Большинство таких коммерческих систем базируется на технологии, разработанной и запатентованной Даугманом [4], и включает следующие этапы: на исходном полутоновом изображении глаза выделяют внешнюю и внутреннюю границы РОГ, далее выполняется нормализация РОГ (путем геометрических преобразований изображения РОГ в прямоугольный шаблон фиксированного размера). На следующем этапе вычисляются признаки с использованием фильтра Габора и генерируется бинарный код РОГ. Далее бинарный код ставится в соответствие конкретному пользователю и заносится в базу данных (БД) или используется для последующего сравнения в процедуре распознавания личности по РОГ. Данный подход к построению кода РОГ и сам код были запатентованы Даугманом в 1994 году [5].

Термин «распознавание» объединяет в себе два понятия: верификация и идентификация. Верификация – это подтверждение соответствия представленного изображения глаза идентификатору, указанному пользователем. Процедура выполняется путем сравнения кода РОГ, полученного для представленного изображения глаза с кодами, хранящимися в БД и соответствующими указанному идентификатору пользователя (например, фамилия, имя и т.п.). Идентификация – это сравнение вычисленного по изображению кода с кодами РОГ, хранящимися в БД, с целью авторизации пользователя.

Целью данной работы является исследование способов получения более инвариантного кода РОГ по прямоугольному полутоновому шаблону и выбора меры сходства для попарного сравнения двух кодов РОГ с наименьшими ошибками распознавания разрабатываемой в Объединенном институте проблем информатики НАН Беларуси системы распознавания личности по изображению РОГ.

Вычисление кода радужной оболочки глаза

Важной задачей при создании систем распознавания личности по изображениям РОГ является совершенствование способа вычисления кода РОГ и меры для сравнения полученных кодов РОГ. Согласно российскому и международным стандартам [6], изображение РОГ описывается двумя неконцентрическими окружностями и преобразуется в прямоугольное изображение фиксированного размера, называемое шаблоном. По полутоновому шаблону вычисляются признаки РОГ. Разные авторы используют различные способы вычисления признаков РОГ (табл. 1).

Таблица 1 – Некоторые способы вычисления признаков РОГ

Авторы	Способ вычисления признаков РОГ
J. Daugman [4], [5]	Двумерные вейвлеты Габора
Y. Chen [7]	Использует предыдущую схему
G. Gupta [8]	Построение матрицы совместной встречаемости
D. Monro [9]	Дискретное косинусное преобразование
W. Boles [10]	Одномерные вейвлеты на разных уровнях разрешения изображения РОГ
S. Lim [11]	Двумерные вейвлеты Хаара
R. Wildes [12]	Пирамида Лапласа (4 уровня разрешения)

Чаще всего для вычисления признаков РОГ используется фильтр Габора [4], [5]. Но он имеет ряд недостатков, поэтому авторами было решено использовать логарифмический вариант фильтра Габора [1]:

$$G(r) = \exp\frac{-(\log(r/f_0))^2}{2\log(\sigma)^2}, \qquad (1)$$

где f_o – центр частотного фильтра, σ – константа.

После этого массив признаков преобразуется в бинарный код. Код, вычисляемый для разных изображений одного и того же глаза из-за расширения/сужения зрачка (при различных условиях съемки), неинвариантен. Чтобы повысить инвариантность кода РОГ к изменениям размера зрачка, было исследовано несколько вариантов оптимизации вычисления кодов РОГ. Код вычислялся в два этапа. На первом – стандартным образом вычислялась матрица бинарного кода для увеличенного размера шаблона. На втором – соседние элементы полученного кода складывались разными способами. Были проанализированы четыре варианта объединения элементов кода:

– сложение кода РОГ по столбцам в одну строку,
– сложение кодов двух смежных строк,

– сложение кодов четырех смежных строк,
– сложение кода блоками размером 2×2 пикселя.

По новым кодам вычислялись три разные меры близости: обобщенный вариант расстояния Хэмминга (2), стандартный коэффициент корреляции Пирсона (3), знаковый коэффициент корреляции Фехнера (4).

Обобщенный вариант расстояния Хэмминга:

$$HD = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} X_{ij} (NOT) Y_{ij} , \qquad (2)$$

где X_{ij} и Y_{ij} – сравниваемые небинарные целочисленные значения кодов РОГ, $M \times N$ – количество бит, представленных в каждом коде РОГ.

Стандартный коэффициент корреляции Пирсона:

$$cor = \frac{\sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} \left(X_{ij} - \overline{X}\right)\left(Y_{ij} - \overline{Y}\right)}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} \left(X_{j} - \overline{X}\right)^2\right)\left(\sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} \left(Y_{j} - \overline{Y}\right)^2\right)}} , \qquad (3)$$

где $\overline{X}$ и $\overline{Y}$ – средние X_{ij} и Y_{ij} соответственно.

Знаковый коэффициент корреляции Фехнера:

$$kF = \frac{U - V}{U + V} , \qquad (4)$$

где U – число пар (X_{ij}, Y_{ij}), у которых знаки отклонений значений от их средних $\overline{X}$ и $\overline{Y}$ совпадают, V – число пар, у которых знаки отклонений значений от их средних не совпадают.

Для оценки результатов распознавания в одном диапазоне [0,1] коэффициент корреляции Пирсона (2) и знаковый коэффициент корреляции Фехнера (3) были нормализованы следующим образом:

$$cor^* = \frac{1 - cor}{2} , \qquad (4)$$

$$kF^* = \frac{1 - kF}{2} , \qquad (5)$$

где cor^* и kF^* – нормализованный коэффициент корреляции Пирсона и знаковый коэффициент корреляции Фехнера в диапазоне [0,1].

Цель первого эксперимента – сравнить различные варианты вычисления кодов РОГ и выбрать тот, который позволяет лучше разделить коды РОГ глаз одного и разных людей. А также выбрать максимальную величину циклического сдвига (*D*) при сравнении кодов РОГ. Сдвиг кодов выполняется для повышения его инвариантности к небольшим поворотам головы человека во время регистрации изображения глаза (до 10^{o} влево и вправо относительно оси «лицо – камера»).

В табл. 2 представлены значения мер близостей (2) – (4) между кодами РОГ при различных вариантах вычисления кодов и трех значений величин сдвига (*D*).

Примечание к табл. 2: величина сдвига *D* составляла 0%, 3%, 10% от длины кода РОГ. Ко всем кодам после сложения по строкам или блокам применялась медианная фильтрация (размер маски – 5×5). Размер кода РОГ составлял 64×640 пикселя.

Анализ данных табл. 2 показывает, что циклический сдвиг кода при вычислении мер сходства от 3% до 10% позволяет получить более инвариантные к повороту значения мер сходства кодов РОГ. Дальнейшее увеличение данного параметра ведет к увеличению времени вычисления, но не уточняет значения мер сходства. При вычислении кода РОГ по блокам 2×2 пикселя расстояние Хэмминга может привести к большему количеству ошибок, чем другие из исследуемых мер сходства кодов РОГ в силу близости наибольших оценок для изображений для одинаковых глаз и наименьших оценок для разных глаз.

Уточнение алгоритмов для изображений стандартного разрешения

Предыдущие эксперименты были выполнены путем попарного сравнения небольшого количества (8 штук) очень качественных изображений глаз высокого разрешения. Для уточнения и проверки корректности полученных результатов было проведено тестирование на большом количестве изображений глаз. Для этого была использована база CASIA-IrisV3-Lamp [6]. Были использованы 1000 первых изображений из этой БД (25 первых человек, по 20 левых и правых изображений глаз каждого). Для этих изображений были получены коды РОГ (высотой H, равной 64 пикселям, шириной, равной $H \times 2 \times k$ пикселей, где $k = 5$). И выполнены сравнения кодов друг с другом. Всего – 488 566 сравнений. Из них для изображений одинаковых глаз (называемых «Свои») – 9237 сравнений, для изображений разных глаз (называемых «Чужие») – 479 329 сравнений. По полученным данным были построены распределения мер близостей (1), (3) и (4) (рис. 1 – 3).

В табл. 3 приведены оценки качества распознавания по изображениям РОГ, используемые при разделимости кодов изображений РОГ одинаковых и разных глаз.

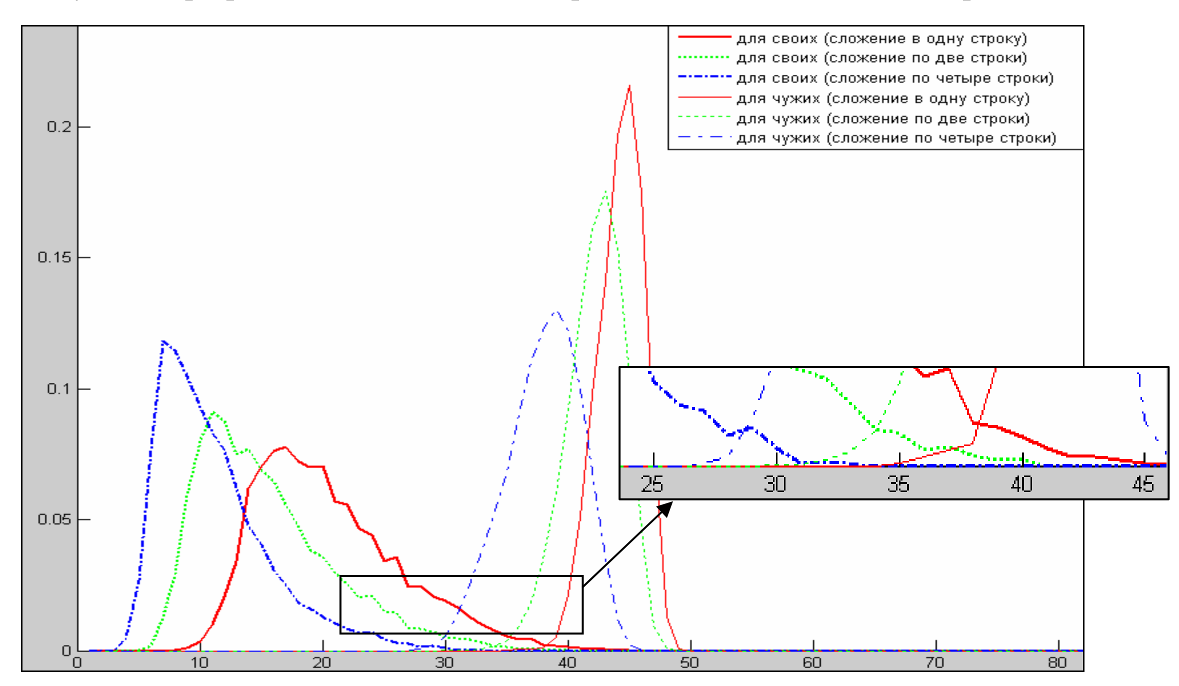


Рисунок 1 – Распределения коэффициента корреляции Пирсона (для 1000 изображений глаз БД CASIA-IrisV3-Lamp) между кодами, вычисленными различными способами

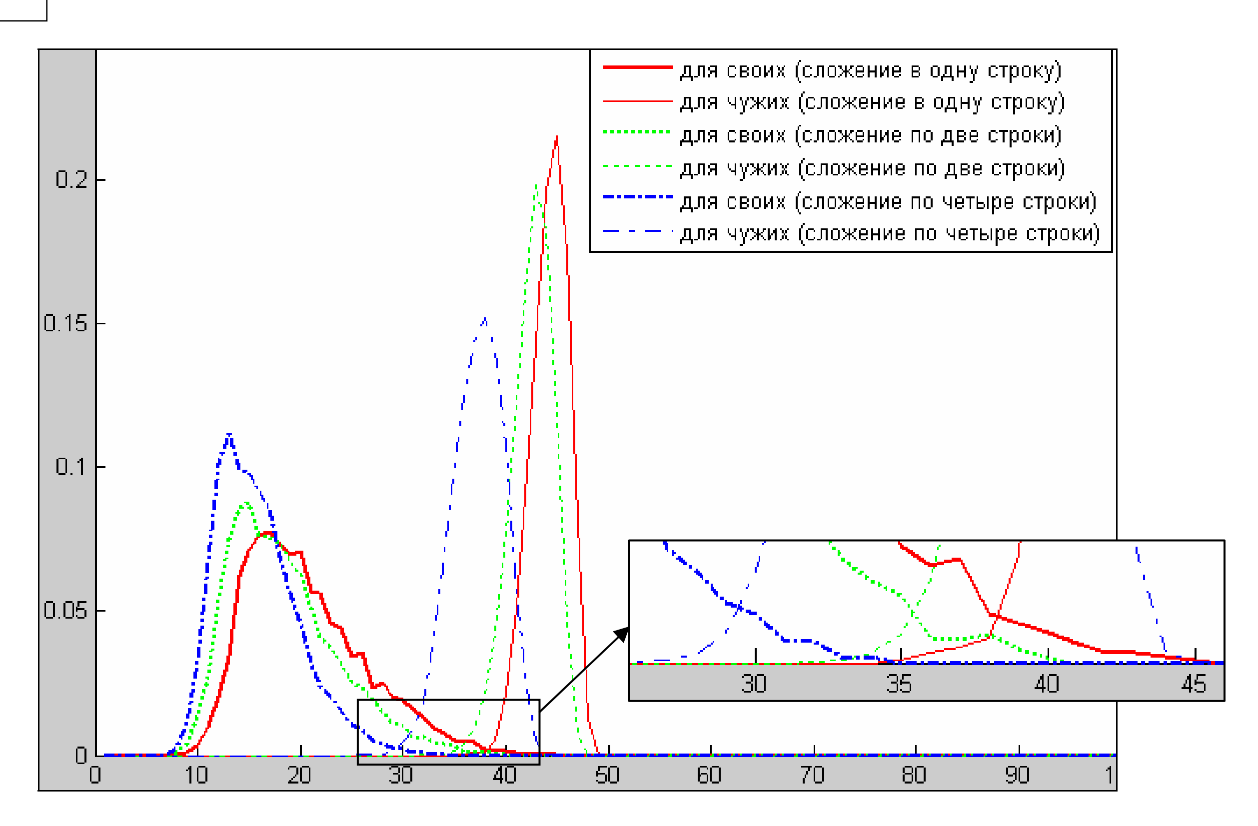


Рисунок 2 – Распределения расстояний Хэмминга (для 1000 изображений глаз БД CASIA-IrisV3-Lamp) между кодами, вычисленными различными способами

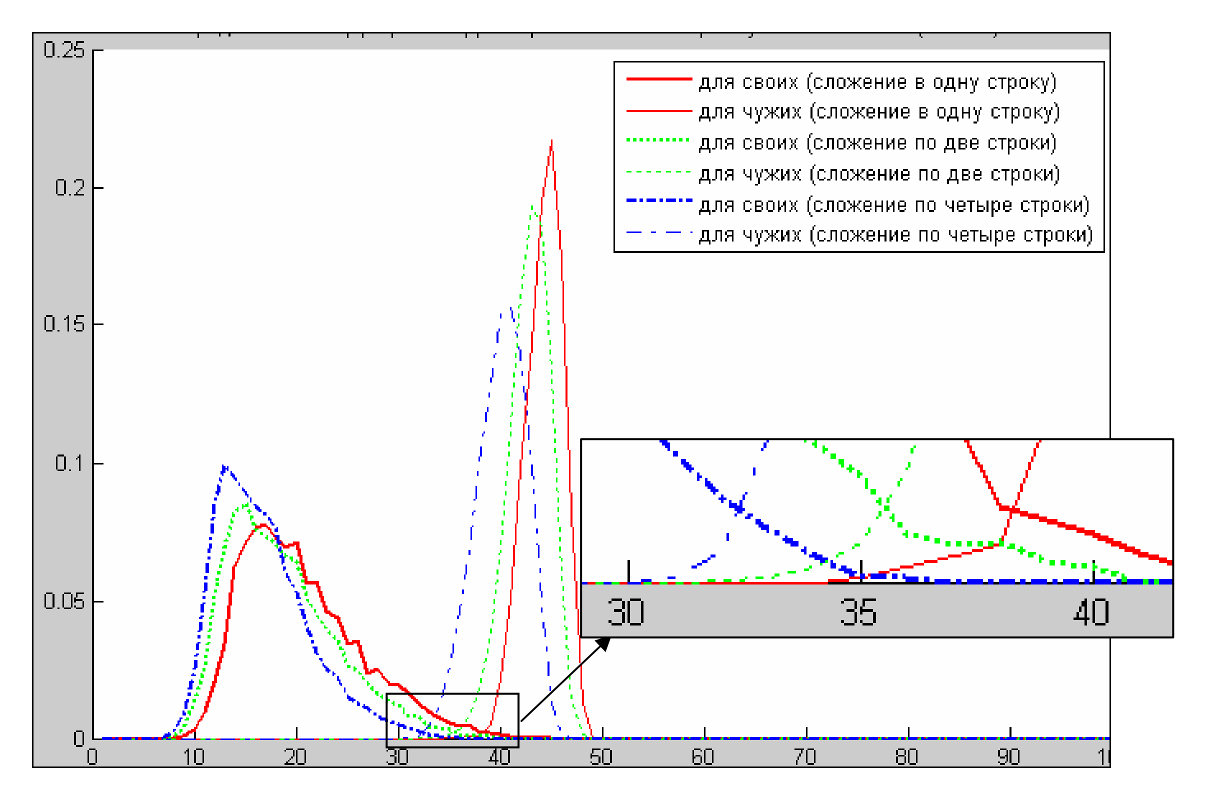


Рисунок 3 – Распределения знакового коэффициента корреляции Фехнера (для 1000 изображений глаз БД CASIA-IrisV3-Lamp) между кодами, вычисленными различными способами

Таблица 2 – Сравнительный анализ вариантов обобщения кодов РОГ с разными вариантами параметра *D*

Сравниваемые коды РОГ	Мера сходства кодов РОГ	Код складывается в одну строку			Код складывается по две строки			Код складывается по четыре строки			Код складывается по блокам 2×2		
		D = 0%	D = 3%	D = 10%	D = 0%	D = 3%	D = 10%	D = 0%	D = 3%	D = 10%	D = 0%	D = 3%	D = 10%
		Изображения одинаковых глаз («Свои»)											
	HD	0,39	0,15	**0,15**	0,37	**0,14**	**0,14**	0,31	0,13	**0,13**	0,21	**0,1**	0,1
PL, 2PL	*kF**	0,39	0,15	**0,15**	0,37	**0,14**	0,15	0,36	0,16	**0,16**	0,31	**0,12**	0,12
	*cor**	0,39	0,15	0,15	0,37	**0,11**	0,11	0,33	0,08	**0,08**	0,33	**0,09**	0,09
	HD	0,29	0,26	**0,26**	0,26	**0,23**	0,23	0,21	0,19	**0,19**	0,14	**0,14**	0,14
K15, K35	*kF**	0,29	0,26	**0,26**	0,26	**0,23**	0,23	0,26	0,22	**0,22**	0,24	**0,21**	0,21
	*cor**	0,3	0,26	**0,26**	0,24	**0,2**	0,2	0,18	0,15	**0,15**	0,22	**0,19**	0,19
	HD	**0,15**	0,15	0,15	0,14	**0,14**	0,14	0,12	0,12	**0,12**	0,08	**0,08**	0,08
PR, 2PR	*kF**	**0,15**	0,15	0,15	0,14	**0,14**	0,14	0,13	0,13	**0,13**	0,13	**0,13**	0,13
	*cor**	**0,15**	0,15	0,15	0,11	**0,1**	0,1	0,07	0,07	**0,07**	0,09	**0,09**	0,09
	HD	0,37	0,31	**0,31**	0,36	**0,3**	0,3	0,32	0,28	**0,28**	0,16	**0,13**	0,13
2K15, 2K35	*kF**	0,37	0,31	**0,31**	0,36	**0,3**	0,3	0,34	0,3	**0,3**	0,34	**0,27**	0,27
	*cor**	0,37	0,31	**0,31**	0,34	**0,27**	0,27	0,3	0,23	**0,23**	0,3	**0,24**	0,24
		Изображения разных глаз («Чужие»)											
	HD	0,48	0,45	**0,44**	0,48	0,44	**0,41**	0,43	0,37	**0,35**	0,24	0,23	**0,22**
PL, K15	*kF**	0,48	0,45	**0,44**	0,48	0,44	**0,41**	0,49	0,42	**0,4**	0,39	0,36	**0,34**
	*cor**	0,48	0,45	**0,44**	0,48	0,43	**0,41**	0,48	**0,39**	**0,39**	0,47	0,42	**0,38**
	HD	0,51	0,42	0,42	0,49	0,4	0,4	0,41	0,33	0,33	0,22	0,2	**0,19**
PL, K35	*kF**	0,51	0,42	0,42	0,49	0,4	0,4	0,5	0,38	0,38	0,41	0,36	**0,35**
	*cor**	0,51	0,42	0,42	0,5	0,39	0,39	0,49	0,34	0,34	0,48	**0,37**	**0,37**
	HD	0,46	0,44	0,43	0,46	0,43	0,41	0,38	0,37	0,35	0,24	0,23	**0,21**
2PL, K15	*kF**	0,46	0,44	0,43	0,46	0,43	0,41	0,44	0,41	0,39	0,38	0,37	**0,35**
	*cor**	0,46	0,44	0,43	0,46	0,42	0,41	0,42	0,39	0,39	0,45	0,43	**0,39**
	HD	0,48	0,41	0,41	0,48	0,4	0,4	0,4	0,34	0,34	0,23	0,19	**0,19**
2PL, K35	*kF**	0,48	0,41	0,41	0,48	0,4	0,4	0,46	0,38	0,38	0,42	0,36	**0,35**
	*cor**	0,48	0,41	0,41	0,48	0,37	0,37	0,45	0,33	0,33	0,47	0,37	**0,37**

Таблица 3 – Средние, среднеквадратичные значения и параметр *d* для полученных мер близости (1) – (3) при сравнении кодов одного и разных глаз (для 1000 изображений глаз БД CASIA-IrisV3-Lamp)

Способ сложения кода РОГ	Мера близости	μ_s	σ_s	μ_c	σ_c	d	*ERR*, %
Без сложения	*HD*	0,2309	0,0591	0,4535	0,0163	5,1395	0,61
В одну строку	*HD*	0,2005	0,0588	0,4375	0,0187	5,4308	0,43
	*cor**	0,2006	0,0588	0,4375	0,0187	5,4299	0,43
	*kF**	0,2005	0,0588	0,4375	0,0187	5,4308	0,43
По две строки	*HD*	0,1789	0,0535	0,4208	0,0204	5,9750	0,38
	*cor**	0,1497	0,0565	0,4170	0,0232	6,1897	0,41
	*kF**	0,1814	0,0546	0,4226	0,0206	5,8482	0,40
По четыре строки	*HD*	0,1538	0,0414	0,3674	0,0250	6,2405	0,35
	*cor**	0,1060	0,0463	0,3750	0,0302	**6,8842**	**0,18**
	*kF**	0,1623	0,0466	0,3955	0,0245	6,2706	**0,18**

Параметр *d* для оценки качества распознавания по изображениям РОГ вычисляется следующим образом [4]:

$$d = \frac{|\mu_s - \mu_c|}{\sqrt{\frac{\sigma_s^2 + \sigma_c^2}{2}}}, \tag{6}$$

где μ_s и μ_c – средние значения мер близости (1), (4) и (5) между всеми кодами РОГ «своих» и «чужих», σ_s и σ_c – среднеквадратичные отклонения для этих величин, *EER* – равная вероятность ошибок I и II рода.

В результате анализа табл. 3 можно сделать вывод о том, что новый подход к построению кода РОГ дает результаты лучше, чем общепринятый подход (без построчного сложения кодов). Общепринятый подход сравнения кодов РОГ с помощью расстояния Хэмминга имеет следующие показатели на тестируемой базе изображений: *d* = 5,1395 и *ERR* = 0,61%, а лучший из исследованных вариантов кодирования РОГ (сложение кода по четырем смежным строкам на втором этапе) имеет лучшие показатели: *d* = 6,2405 и *ERR* = 0,35%. Кроме того, из графиков, представленных на рис. 1 – 3, и данных табл. 3, можно сделать вывод, что знаковый коэффициент корреляции Фехнера и коэффициент Пирсона дают меньшую вероятность равенства ошибок I и II рода (*ERR* = 0,18%). При этом разности между средними значениями «своих» и «чужих» практически одинаковы, но коэффициент Фехнера проще в вычислительном плане.

Выводы

В статье предложен новый двухуровневый подход к построению кода радужной оболочки глаза по его полутоновому изображению. Экспериментально показана его более высокая точность по сравнению с традиционно вычисляемыми кодами. В результате сравнения разных вариантов кодов, вычисленных для 1000 изображений глаз с разными диаметрами зрачка, можно сделать выводы:

– сложение кода по четырем смежным строкам на втором этапе дает лучшие результаты при распознавании личности по изображению радужной оболочке глаза, чем общепринятый подход к вычислению кода;

– при сравнении кодов РОГ между собой для обеспечения их инвариантности к повороту целесообразно использовать циклический сдвиг кода до 3 – 10% от его длины;

– в качестве меры сравнения кодов РОГ рекомендуется использовать знаковый коэффициент корреляции Фехнера, поскольку он дает меньше ошибок и прост в вычислениях.

Литература

1. Kumar A. Comparison and combination of iris matchers for reliable personal authentication / A. Kumar, A. Passi // Pattern Recognition. – 2010. – Vol. 43, № 3. – P. 1016-1026.
2. Iridian Technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.iridiantech.com.
3. LG [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.lgiris.com.
4. Daugman J. How iris recognition works / J. Daugman // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 2004. – Vol. 14, № 1. – P. 21-30.
5. Пат. США 5291560. Biometric personal identification system based on iris analysis / J.G. Daugman ; заявитель и патентообладатель Iri Scan Incorporated (США). – № 07/729,638; заявл. 15.07.1991; опубл. 01.03.1994. – 24 с.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 19794-6-2006. Автоматическая идентификация. Идентификация биометрическая. Форматы обмена биометрическими данными. Часть 6. Данные изображения радужной оболочки глаза, 2007. – 28 с.
7. Monro D. DCT-Based Iris Recognition / D. Monro, S. Rakshit, D. Zhang // IEEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence. – April 2007. – Vol. 29, № 4.
8. Chen Y. Localized iris image quality using 2D wavelet / Y. Chen, S.C. Dass, A.K. Jain // LNCS. – 2005. – Vol. 3832. – P. 373-381.
9. Gupta G. Iris Recognition Using Non Filter-based Technique / G. Gupta, M. Agarwal // Proceedings of Biometrics Symposium. – Arlington, VA, September, 2005. – P. 45-47.
10. Boles W.W. A human identification technique using images of the iris and wavelets transform / W.W. Boles, B. Boashash // IEEE Trans. Signal Process. – 1998. – Vol. 46, № 4. – P. 1185-1188.
11. Efficient Iris Recognition through Improvement of Feature Vector and Classifier / S. Lim, K. Lee, O. Byeon, T. Kim // ETRI J. – 2001. – Vol. 23, № 2. – P. 61-70.
12. Wildes R. A machine-vision system for iris recognition / R. Wildes, J. Asmuth, G. Green [et al.] // Machine Vision and Applications. – 1996. – Vol. 9. – P. 1-8.
13. База изображений глаз CASIA [Электронный ресурс]. – Институт автоматизации. Китайская академия наук. – Режим доступа : http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm.

Ю.І. Монич, В.В Старовойтов

Новий підхід до побудови коду райдужної оболонки ока

У статті представлені результати дослідження задач, що виникають при створенні систем розпізнавання особи за РОО. Запропоновано новий двохрівневий підхід до побудови коду, що описує напівтонове зображення райдужної оболонки ока. Проаналізовано точність трьох мір для порівняння схожості кодів РОО різних людей. Дослідження виконувалися на зображеннях очей високої роздільної здатності (з радіусом РОО близько 500, 1000 пікселів), а також на загальнодоступній базі зображень зі стандартною роздільною здатністю – CASIA-Iris-V3-Lamp (з радіусом РОО близько 90 – 110 пікселів).

Y.I. Monich, V.V. Starovoitov

A New Approach to Iris Code Calculation

In this paper the results of the investigation of several tasks arising in design of biometric systems based on iris recognition are presented. We is a new two-level approach to iris code calculation. Three measures for iris code comparison were analyzed suggested. Investigations were conducted on iris images with high resolution (with iris radius about 500 and 1000 pixels), and on the available image database with standard resolution CASIA-Iris-V3-Lamp (with iris radius about 90-110 pixels).

Статья поступила в редакцию 03.06.2010.